

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-324913

(43)Date of publication of application : 08.11.2002

(51)Int.Cl.

H01L 33/00  
H01L 21/205  
H01S 5/323

(21)Application number : 2001-127209

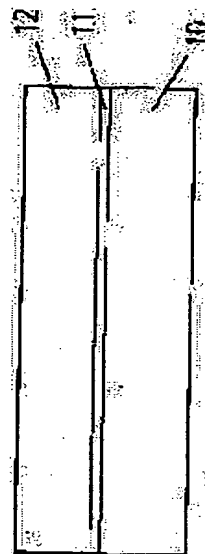
(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 25.04.2001

(72)Inventor : IWATA HIROKAZU  
SARAYAMA SHOJI  
MIKI TAKESHI**(54) III NITRIDE SEMICONDUCTOR AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a III nitride semiconductor which has higher carrier concentration and higher quality than the conventional one.

**SOLUTION:** On a sapphire substrate 10, a low-temperature GaN buffer layer 11 and a p-type  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) layer 12 as the III nitride semiconductor are stacked in this order. The p-type  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) layer 12 is, for example, a p-type  $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$  layer where  $x=0.08$ . The p-type  $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$  layer 12 includes Mg(magnesium) which is a p-type impurity and B(boron), each in a quantity of about  $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ .

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

Best Available Copy

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P) (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-324913  
(P2002-324913A)  
(43) 公開日 平成14年11月8日 (2002.11.8)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	チート・P (参考)
H01L 33/00	21/205	H01L 33/00	C 5P041
H01S 5/323	610	21/205	5P045
		H01S 5/323	610 5P073

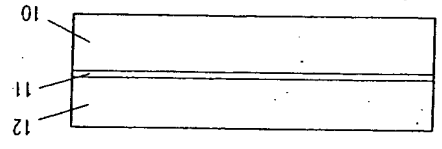
審査請求 未請求 請求項の範囲 13 OL (全 25 頁)

(21) 出願番号	特開2001-127209 (P2001-127209)	(71) 出願人	000005747 株式会社ユニコー
(22) 出願日	平成13年4月25日 (2001.4.25)	(72) 発明者	岩田 浩和 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社ユニコー内
		(72) 発明者	西山 正二 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社ユニコー内
		(74) 代理人	100090240 弁理士 楠本 源治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 III族窒化物半導体およびその作製方法および半導体装置およびその作製方法

(57) 【要約】  
【課題】 従来のIII族窒化物半導体は、高品質のIII族窒化物半導体を提供する。  
【解決手段】 サファイア基板10上には、低圧GaNパッファ層11、III族窒化物半導体としてのp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1) 層12が順次に積層されている。ここで、p型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1) 層12は、例えばx = 0.08のp型Al<sub>0.92</sub>Ga<sub>0.08</sub>N層である。そして、p型Al<sub>0.92</sub>Ga<sub>0.08</sub>N層12には、p型不純物のMg (マグネシウム) と同時にB (ボロン) が含まれている。ここで、MgとBは、ともに8 × 10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup>程度含まれている。



【特許請求の範囲】  
【請求項1】 Mgが添加されたp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1) において、前記p型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1) には、Mgと同時にBが添加されていることを特徴とするIII族窒化物半導体。  
【請求項2】 請求項1記載のIII族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有していることを特徴とする半導体装置。  
【請求項3】 請求項2記載の半導体装置において、p型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1) 層に請求項1記載のIII族窒化物半導体を用いることを特徴とする半導体装置。  
【請求項4】 請求項2または請求項3記載の半導体装置において、該半導体装置は半導体発光素子であることを特徴とする半導体装置。  
【請求項5】 請求項4記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は半導体レーザ素子であることを特徴とする半導体装置。  
【請求項6】 請求項4または請求項5記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は、発光波長が400 nm以下であることを特徴とする半導体装置。  
【請求項7】 請求項5記載の半導体装置において、半導体装置としての半導体レーザ素子は、請求項1記載のIII族窒化物半導体をクラッド層に用いた少なくとも一つのp-n接合を有していることを特徴とする半導体装置。  
【請求項8】 Mgと同時にBが添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1) を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度から冷却を、窒素原料を含む冷却雰囲気で行うことを特徴とするIII族窒化物半導体の作製方法。  
【請求項9】 請求項8記載のIII族窒化物半導体の作製方法において、冷却雰囲気に含まれる窒素原料はN<sub>2</sub>であることを特徴とするIII族窒化物半導体の作製方法。  
【請求項10】 Mgと同時にBが添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1) を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度から冷却を、N<sub>2</sub>の冷却雰囲気で行うことを特徴とするIII族窒化物半導体の作製方法。  
【請求項11】 Mgと同時にBが添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1) を含む半導体積層構造を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度から冷却を、窒素原料を含む雰囲気で行うことを特徴とする半導体装置の作製方法。  
【請求項12】 請求項11記載の半導体装置の作製方法において、冷却雰囲気に含まれる窒素原料はN<sub>2</sub>であることを特徴とする半導体装置の作製方法。  
【請求項13】 Mgと同時にBが添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N (0 ≤ x ≤ 1) を含む半導体積層構造

を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度から冷却を、N<sub>2</sub>の冷却雰囲気で行うことを特徴とする半導体装置の作製方法。  
【発明の詳細な説明】  
【0001】  
【発明の属する技術分野】 本発明は、DVDやCD等の光ピックアップ光源、電子写真用の青を込み光源、光通信用光源、紫外線センサー、高温動作トランジスタ等に利用されるIII族窒化物半導体およびその作製方法および半導体装置およびその作製方法に関する。  
【0002】  
【従来の技術】 従来、青色のLEDは赤色や緑色のLEDに比べて輝度が小さく実用性に欠け、近頃、近年、一般式InAlGaInで表されるIII族窒化物半導体において、低圧AlNパッファ層あるいは低圧GaInパッファ層を用いた結晶成長技術の向上と、水素パッファ層によって高抵抗化したp型層を熱処理によって低抵抗化する技術が見出され、高輝度の青色LEDが実用化された。  
【0003】 その後、更なる結晶性の向上と、p型GaInNの低抵抗化の研究が進み、種々の提案がなされ、低出力 (数mW) ではあるが、窒素近傍で連続発光する青色半導体レーザが実用化された。  
【0004】 以上のように、III族窒化物半導体装置の開発を行う上で、p型III族窒化物の作製技術は重要な基本技術となっている。  
【0005】 p型III族窒化物は、p型不純物と水素が結合し、p型不純物を不活性化してしまつたため、水素を含む雰囲気での結晶成長や、水素ガス中や水素を生成するガス中で熱処理を行った場合には高抵抗化する。従つて、水素をキャリアガスとして使用するMOCVD等の方法では、p型III族窒化物をas-grown (熱処理等の特別な後処理を行わない結晶成長したままの状態) で作製することは困難であつた。  
【0006】 p型III族窒化物を作製するための方法としては、高抵抗化したIII族窒化物に特別な処理を行つてp型化する第1の作製方法と、結晶成長の工程を工夫することによってp型III族窒化物を作製する第2の作製方法とに大別される。  
【0007】 上記第1の作製方法において、p型化のための特別な処理に関しては、特開5-183189号 (以下、従来技術1という) には、水素や水素を生成する水素化物のガス (NH<sub>3</sub>等) を含まない雰囲気ガス中で、熱処理を行い、結晶中に含まれる水素の一部を結晶外へ拡散排し、低抵抗のp型にする方法が提案されている。  
【0008】 あるいは、特開3-218625号 (以下、従来技術2という) には、低エネルギーの電子線を照射し、結晶中に含まれる水素とp型不純物の結合を切つて低抵抗のp型にする方法が提案されている。

【0009】また、上記第2の作製方法において、結晶成長の工程を工夫する仕方として、特開平8-12522号（以下、従来技術3という）には、結晶成長終了後の冷却過程を、窒素や不活性ガス等の水素を含まないガス雰囲気中で行うことで、低抵抗のp型にすることが開示されている。

【0010】また、結晶成長を水素ガスを含まない系で行う方法も知られている。これは窒素をキャリアガスに使用したMOCVD法や、水素を含まない原料を使用するMBE法である。これらの方法では、as-grow n（結晶成長したのみで、p型化の特別な処理をしていない状態）でp型Ga Nが得られることが知られている。

【0011】また、別の方法として、特開平6-232451号（以下、従来技術4という）には、 $\text{In}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ 、 $(0 < x < 1, 0 \leq y < 1)$  で表されるIII族窒化物層を成長させた後に、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ～ $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でドーピングしてp型III族窒化物半導体を作製する方法が開示されている。

【0012】この方法は、 $\text{In}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ 、 $(0 < x < 1, 0 \leq y < 1)$  層を緩衝層として用いることで、その上に成長するp型Ga N層の歪みを緩和して結晶性の悪化を防ぐことで、as-grow nでp型Ga Nを作製するものである。この方法によれば、Ga Nに $\text{Mg}$ を $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドーピングして、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度のp型Ga Nを作製している。

【0013】現在、以上のような方法で、p型III族窒化物半導体は作製されている。

【0014】高い電流密度を必要とする発光素子等に使用されるp型III族窒化物半導体には高いIII族窒化物半導体が要求されるが、バンドギャップの広いIII族窒化物半導体は、前述したような方法でp型化してもキャリア濃度は低い。例えば、半導体レーザのクラッド層に使用されるAlGa Nでは、キャリア濃度が $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ を超えるものを作製することは容易ではない。

【0015】これを解決する方法として、特開平10-101496号（以下、従来技術5という）には、 $\text{Mg}$ とSiを2:1、あるいは $\text{Mg}$ とOを2:1、あるいは $\text{Be}$ とSiを2:1、あるいは $\text{Be}$ とOを2:1の比率でGa Nに $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ～ $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度同時ドーピングして、高キャリア濃度のp型Ga Nを作製する方法が開示されている。

【0016】また、Ga N/AlGa Nの超格子構造により実効的なキャリア濃度を高める方法が提案されており、それをクラッド層に適用した半導体レーザが作製されている。

【0017】図19は特開平11-4048号（以下、従来技術6という）に示されている半導体レーザを示す図である。図19を参照すると、この半導体レーザは、

らなる窒素ガスはIII族窒化物の生成原料にはならないために、700℃を超える高温では結晶表面の分解が起る、表面抵抗が大きくなるなど、特性の劣化が生じる場合があった。これは、結晶表面に電極を形成する場合には、オーミック接触抵抗が大きくなる等の不具合が生じることがある。また、p型化の熱処理工程を必要とするため、製造工程の増加と熱処理設備が必要となり、工業的にコストがかかると、従来技術3は、熱処理工程を必要としないので、コスト的に低くできるが、1000℃程度の結晶成長温度から室温までの降温を窒素ガスや不活性ガスでのみ雰囲気で行うので、従来技術1と同様に、結晶表面の分解が起る、表面抵抗が大きくなるなど、特性の劣化が生じる場合があった。

【0026】また、従来技術2の低エネルギー電子線照射は、電子線の侵入深さが浅く、結晶表面近傍しかp型化できないことと、電子線を一度に照射できる面積が狭いため、ウェハ全面をp型化するには時間がかかり、工業的にコストがかかりすぎる。

【0027】また、従来技術4の方法、すなわち、 $\text{In}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ 、 $(0 < x < 1, 0 \leq y < 1)$  で表されるIII族窒化物層を成長させた後に $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ～ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でドーピングしてp型Ga Nを作製する方法では、直上の結晶層の歪みが緩和され、p型特性を示すが、多層構造を形成する場合に、層厚が厚くなるに依り、その効果が薄れてしまう。そのため、デバイス設計の自由度が少いという問題がある。さらに、AlGa Nの場合には、as-grow nでは高キャリア濃度のものは得られにくく、熱処理等の後処理がやはり必要である。

【0028】水素を含まない雰囲気での結晶成長方法に関しては、まず、MBE法では、高真空中で結晶成長を行うため窒素の解離による欠陥が形成される等、高品質な結晶成長が行いにくい。また、窒素の供給に課題があり、成長速度が遅く、MOCVD法ほどには量産には向いていない。

【0029】一方、MBE法と同様に水素を極力含まない雰囲気中でMOCVD法により結晶成長を行った場合、本願の発明者によるGa Nの実験では、表面の凹凸が激しいものが成長できず、結晶性の良いものは成長できなかった。すなわち、水素を含まない雰囲気では高品質のp型Ga Nを成長できる条件が狭いと考えられる。

【0030】また、従来技術5の方法、すなわち、 $\text{Mg}$ とSiを2:1、あるいは $\text{Mg}$ とOを2:1、あるいは $\text{Be}$ とSiを2:1、あるいは $\text{Be}$ とOを2:1の比率で、Ga Nに $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ～ $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度同時ドーピングして、高キャリア濃度のp型Ga Nを作製する方法では、ドーピング量を増やすに依り、表面モフォロジーが悪くなるため、半導体レーザのような平坦な導波路構造を必要とするデバイスを作製するには難があっ

た。

【0031】また、従来技術6の半導体レーザでは、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ /Ga N超格子を使用してp型クラッド層のキャリア濃度を実効的に増加させているが、超格子構造を作製するための結晶成長プロセスと装置が必要となることから、結晶成長に要する時間と装置コストがかかり、半導体レーザが高価なものとなる。

【0032】また、p型Ga Nのキャリア濃度が $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下と十分高くないので、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ /Ga N超格子の実効キャリア濃度も高出分半導体レーザを適用化するには十分とはいえず、キャリア濃度の高いp型AlGa Nが必要とされる。

【0033】本発明は、上述した従来技術の問題点を解決することを目的としている。すなわち、従来よりもキャリア濃度が高くかつ高品質のIII族窒化物半導体およびその作製方法および半導体装置およびその作製方法を提供することを目的としている。

【0034】  
【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1記載の発明は、 $\text{Mg}$ が添加されたp型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 、 $(0 \leq x \leq 1)$  において、前記p型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 、 $(0 \leq x \leq 1)$  には、 $\text{Mg}$ と同時にBが添加されていることを特徴としている。

【0035】また、請求項2記載の発明は、請求項1記載のIII族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有していることを特徴としている。

【0036】また、請求項3記載の発明は、請求項2記載の半導体装置において、前記オーミック電極を形成するコンタクト層に請求項1記載のIII族窒化物半導体を用いることを特徴としている。

【0037】また、請求項4記載の発明は、請求項2または請求項3記載の半導体装置において、該半導体装置は半導体発光素子であることを特徴としている。

【0038】また、請求項5記載の発明は、請求項4記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は半導体レーザ素子であることを特徴としている。

【0039】また、請求項6記載の発明は、請求項4または請求項5記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は、発光波長が400nm以下であることを特徴としている。

【0040】また、請求項7記載の発明は、請求項5記載の半導体装置において、半導体装置としての半導体レーザ素子は、請求項1記載のIII族窒化物半導体をクラッド層に用いた少なくとも1つのp-n接合を有していることを特徴としている。

【0041】また、請求項8記載の発明は、 $\text{Mg}$ と同時にBが添加されているp型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 、 $(0 \leq x \leq 1)$  を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長後の結晶成長温度からの冷却、窒素原料を含む冷却雰囲気で行うことを特徴としている。

【0042】また、請求項9記載の発明は、請求項8記載のIII族置換化合物半導体の作製方法において、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はNH<sub>3</sub>であることを特徴としている。

【0043】また、請求項10記載の発明は、Mgと同様にBが添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1)を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度からの冷却を、NH<sub>3</sub>の冷却雰囲気で行なうことを特徴としている。

【0044】また、請求項11記載の発明は、Mgと同様にBが添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1)を含む半導体層構造を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度からの冷却を、窒素原料を含む雰囲気で行なうことを特徴としている。

【0045】また、請求項12記載の発明は、請求項11記載の半導体装置の作製方法において、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はNH<sub>3</sub>であることを特徴としている。

【0046】また、請求項13記載の発明は、Mgと同様にBが添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1)を含む半導体層構造を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度からの冷却を、NH<sub>3</sub>の冷却雰囲気で行なうことを特徴としている。

【0047】

【発明の実施の形態】以下、本発明の装置形態を図面に基いて説明する。本発明のIII族置換化合物半導体は、Mg (マグネシウム) が添加されたp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1)において、このp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1)には、Mg (マグネシウム) と同時にB (ボロン) が添加されていることを特徴としている。

【0048】一般的に、p型III族置換化合物半導体を製造する場合には、p型不純物を適量添加することで、そのキャリア濃度を制御して作製している。なお、p型不純物としては一般的にMgが使用される。

【0049】しかしながら、III族置換化合物半導体中のp型不純物の活性化率は～1%と低いため、p型不純物を～10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>程度まで添加しても、p型Ga<sub>1-x</sub>Nで、キャリア濃度は10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>以下と低いものしか作製できない。

【0050】さらに、AlGa<sub>1-x</sub>N等のワイドギャップ半導体になると、キャリア濃度はさらに低下し、高抵抗化してしまう。

【0051】また、p型不純物のドーピング量が～10<sup>20</sup> cm<sup>-3</sup>を超えると、表面モフォロジーが悪くなり、逆に高抵抗化してしまう。

【0052】Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) 結晶に添加されたp型不純物 (一般にはMgが使用) はGa<sub>1-x</sub>NにA<sub>1-x</sub>を置換してIII族元素サイトを占める。

晶成長される場合においては、さらに、冷却雰囲気に含まれる窒素原料が、AlGa<sub>1-x</sub>Nの生成反応に寄与する原料の窒素を生成するため、AlGa<sub>1-x</sub>N結晶表面からの窒素の解離が防止され、その結果、ドナー性欠陥となる窒素空孔の生成が抑制され、表面の高抵抗化が防止され、低抵抗のp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) がas-grownで得られると考慮される。

【0061】また、冷却中の雰囲気ガス中に水素を含む場合には、結晶表面に吸着している未反応の有機原料や、有機物の水素によるクリーニング効果が期待できるので、表面の汚染による表面抵抗の増加が防止できる。これは従来技術では得られなかった効果である。

【0062】また、窒素原料ガスとしては特に限定しないが、NH<sub>3</sub>等のその分解によって水素を発生する化合物を使用することによって、原子状窒素による結晶表面の分解抑制効果 (それによる水素の拡散抑制効果) と水素によるクリーニング効果が同時に得られる。

【0063】前述した従来技術1では、水素を発生する化合物や水素ガスを含む雰囲気中では、高抵抗化したIII族置換化合物から水素を排出させてp型化することは困難であるため、水素を含む雰囲気中で熱処理を行っていたが、これに対し、本発明の作製方法では、結晶成長後の低抵抗のp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) 中への水素の拡散侵入を抑制することで、結晶成長後の冷却過程における高抵抗化を抑制し、低抵抗のp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) を作製することを特徴とし、従来技術とは原理的に異なるものである。また、雰囲気中には、水素を含んでいても、含んでいないとしても、水素を含む場合には水素の効果を積極的に利用している点も従来技術とは異なる。

【0064】すなわち、Mg (マグネシウム) と同時にB (ボロン) が添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) の作製方法において、冷却雰囲気に含まれる窒素原料としてはNH<sub>3</sub> (アンモニア) を用いることができる。

【0065】窒素原料ガスとしてNH<sub>3</sub>を使用するときには、その分解によって生成される原子状窒素による結晶表面の分解抑制効果と水素によるクリーニング効果が同時に得られる。

【0066】また、本発明では、III族置換化合物半導体の第2の作製方法として、Mgと同時にBが添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) を、水素ガスを含まない反応系で結晶成長して作製し、その結晶成長直後の結晶成長速度からの冷却を、NH<sub>3</sub>の冷却雰囲気で行なうようにしている。

【0067】この第2の作製方法では、冷却中の雰囲気はNH<sub>3</sub>のみであるので、その分解によって生成される原子状窒素による結晶表面の分解抑制効果と水素によるクリーニング効果を、混合ガス雰囲気の場合よりも効果的に得ることができる。

【0068】なお、従来、NH<sub>3</sub>雰囲気中の熱処理では、水素パセージョンによりp型結晶が高抵抗化し、低抵抗のp型III族置換化合物は得られなかったが、本発明では、結晶成長後の冷却過程において、雰囲気はNH<sub>3</sub>ガスとすることにより、表面汚染が抑制された低抵抗のp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) がas-grownで得られる。

【0069】また、本発明では、上述したIII族置換化合物半導体 (Mg (マグネシウム) と同時にB (ボロン) が添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1)) を含む半導体層構造を有している半導体装置を構成することができる。

【0070】なお、このような半導体装置は、p型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) の特性を用いて機能するものであれば、任意の素子形態をとることができる。すなわち、半導体素子 (例えば、半導体レーザー素子、受光素子、電子デバイス等の形態をとることができる)。

【0071】具体的に、半導体素子として構成する場合、正負の2つの電極間に電圧を印加することによって、発光領域に電流を注入し、そこでキャリアの再結合が生じ発光するものであれば、その構造は特に限定しない。

【0072】すなわち、半導体素子としては、発光ダイオードであっても良いし、半導体レーザーであっても良い。また、半導体素子が例えば半導体レーザーである場合、この半導体レーザーの構造は特に限定されるものではなく、端面発光型、面発光型のどちらの構造であっても良い。

【0073】また、本発明の半導体装置は半導体素子である場合、この半導体素子としては、発光波長が400 nm以下のものにすることができる。

【0074】より具体的に、本発明では、Mg (マグネシウム) と同時にB (ボロン) が添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) を含む半導体層構造を有する半導体装置において、p側オームミック電極を形成するコンタクト層に、Mg (マグネシウム) と同時にB (ボロン) が添加されているp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) を用いることができる。

【0075】なお、このような半導体装置は、p型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1) にp側オームミック電極が形成され、電流を注入することにより機能するものであれば、任意の素子形態をとることができる。すなわち、半導体素子 (例えば、半導体レーザー素子、受光素子、電子デバイス等の形態をとることができる)。

【0076】具体的に、半導体素子として構成する場合、正負の2つの電極間に電圧を印加することによって、発光領域に電流を注入し、そこでキャリアの再結合が生じ発光するものであれば、その構造は特に限定しない。



成長して作型した。  
 [0108] この作製工程例では、まず、サファイア基板20を反応管にセットし、水素ガス中、1120℃で加熱し、基板20の表面をクリーニングした。  
 [0109] 次いで、温度を520℃に下げ、成長雰囲気

を流し、低圧AlNパツファア層21を増殖した。  
 [0110] 次いで、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層22を3μmの厚さに、低圧Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層23を0.5μmの厚さに順次増殖した。

[0111] 次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気

NH<sub>3</sub>と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TM<sub>1</sub>を供給し、In<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>N活性層24を50nmの厚さに成長した。

[0112] 次いで、雰囲気

をNH<sub>3</sub>と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、(EtCp)<sub>2</sub>MgおよびB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層25を0.5μmの厚さに、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層26を0.2μmの厚さに順次増殖した。

[0113] 次いで、低圧Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層27を5μmの厚さに順次増殖した。その後、ウエハを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材料をリフトオフし、n側オーミック電極と配線電極を形成した。その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理し、n側オーミック電極29を形成した。次いで、温度を1070℃に上げ、TMGとTMAとSiH<sub>4</sub>を供給して、n型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層44を1μmの厚さに順次増殖した。

[0118] また、図4は本発明に係る半導体装置の他の構成例を示す図であり、図4の例では、半導体装置はフォトダイオードとして構成されている。

[0119] 図4を参照すると、このフォトダイオードは、サファイア基板40上に、低圧Ga<sub>0.99</sub>Nパツファア層41、n型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層42、低圧n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nパツファア層43、n型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層44、p型Al<sub>0.04</sub>Ga<sub>0.96</sub>N層45、AlNキャップ層46が順次に積層された積層構造を有している。

[0120] ここで、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層45に、p型ドープメントとしてのMgと同時に、B（ボロン）がドープインされている。

[0121] そして、上記積層構造をAlNキャップ層46からn型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層42が露出するまでエッチングして、直径150μmのメサ構造が形成されている。

[0122] メサ構造上部のAlNキャップ層46は、その外周がリング状にエッチングされ、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層45の表面が露出している。露出したp型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層45の表面にはリング状のp側オーミック電極48が形成されている。また、露出したn型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層42にはn側オーミック電極49が形成されている。

[0123] また、オーミック電極48、49が形成されている部分以外の領域にはSiO<sub>2</sub>絶縁保護膜47が形成されている。また、メサ構造側面とn型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層42上のSiO<sub>2</sub>絶縁保護膜47上には、p側オーミック電極48から引き出された配線電極50が形成されている。

[0124] 図4のフォトダイオードにおいて、メサ構造上部のリング状のp側オーミック電極48で囲まれた部分が受光面30となる。このフォトダイオードに逆バイアスを印加し、受光面30に光を照射すると、光の強度に対応した光電流が流れる。図4のフォトダイオードは、346.1nmより短い波長での光センサーとして機能する。

[0114] 次いで、絶縁保護膜27となるSiO<sub>2</sub>を積層構造の表面に約0.5μmの厚さに増殖した。  
 [0115] 次いで、p側オーミック電極28を形成した。p側オーミック電極28の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、発光ダイオードとフォトダイオードの上部に、レジストでマスクパターンの形成した後、絶縁保護膜27をエッチングしてp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層26を露出させる。  
 [0116] 次いで、p側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、ウエハを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材料をリフトオフし、発光ダイオードとフォトダイオードの上部に、p側オーミック電極28を形成した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層26にp側オーミック電極28を形成した。  
 [0117] 次いで、n側オーミック電極29と配線電極30とを形成した。n側オーミック電極29と配線電極30の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、

[0125] 次に、図4のフォトダイオードの作製工程例を説明する。まず、サファイア基板40を反応管にセットし、水素ガス中、1120℃で加熱し、基板40の表面をクリーニングした。  
 [0126] 次いで、温度を520℃に下げ、雰囲気

NH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、TMGを流し、低圧Ga<sub>0.99</sub>Nパツファア層41を増殖した。  
 [0127] 次いで、温度を1050℃に上げ、TMGとSiH<sub>4</sub>を供給し、n型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層42を2μmの厚さに順次増殖し、続いて、温度を600℃に下げ、TMGとTMAとSiH<sub>4</sub>を供給して、低圧n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nパツファア層43を約50nmの厚さに増殖した。次いで、温度を1070℃に上げ、TMGとTMAとSiH<sub>4</sub>を供給して、n型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層44を1μmの厚さに順次増殖した。

[0128] 次いで、SiH<sub>4</sub>の供給を止め、(EtCp)<sub>2</sub>MgとB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を供給し、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層45を0.5μmの厚さに、AlNキャップ層46を0.1μmの厚さに順次増殖した。

[0129] 結晶成長後、p型層の低抵抗化のため、窒素雰囲気中、750℃で15分間の熱処理を行った。

[0130] 次に、内径130μm、外形145μmのリング状に開いたパターンをレジストで形成した。このレジストパターンをマスクとして、ドライエッチングを行い、AlNキャップ層46をエッチング除去し、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層45の表面を露出した。

[0131] 次いで、ドライエッチングで形成したリングパターン上に、レジストで直径150μmの円パターンを形成した。このレジストパターンをマスクとして、再びドライエッチングを行い、高さ約2μmのメサ形状を形成するとともに、n型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層42を露出させた。

[0132] レジストマスクを除去した後、ウエハをプラズマCVD装置にセットし、表面にSiO<sub>2</sub>膜47を約0.5μm増殖した。  
 [0133] 次いで、p側オーミック電極48を形成した。p側オーミック電極48の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、メサの上部にレジストでリング状のマスクパターンを形成し、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層45を露出させる。次いで、p側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、ウエハを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材料をリフトオフし、メサ上部にp側オーミック電極48を形成した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層45にp側オーミック電極48を形成した。

[0134] 次いで、n側オーミック電極49と配線電極50とを形成した。n側オーミック電極49と配線電極50の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、

[0135] また、図5は本発明に係る半導体装置の他の構成例を示す図であり、図5の例では、半導体装置は半導体レーザーとして構成されている。なお、図5は半導体レーザーの光出力方向に垂直な面での断面図である。

[0136] 図5を参照すると、この半導体レーザーは、サファイア基板60上に、Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nパツファア層61、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62、n型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層63、n型Ga<sub>0.98</sub>N層64、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N多量子井活性層65（2ペ）、p型Al<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N層66、p型Ga<sub>0.99</sub>Nガイド層67、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層68、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層69が順次に積層されて形成されている。

[0137] ここで、p型Al<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N層66、p型Ga<sub>0.99</sub>Nガイド層67、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層68、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層69には、p型ドープメントとしてのMgと同時に、B（ボロン）がドープインされている。

[0138] また、上記積層構造は、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層69の表面からn型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62までエッチングされ、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62の表面が露出している。露出したn型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62上には、Ti/Auからなるn側オーミック電極73が形成されている。

[0139] また、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層69の表面からp型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層68の途中までエッチングされ、電流集約リング構造400が形成されている。そして、リング構造400の最表面のp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層69上には、Ni/Auからなるp側オーミック電極71が形成されている。

[0140] また、電極形成部以外には、絶縁保護膜70としてSiO<sub>2</sub>が堆積されている。そして、絶縁保護膜70上にはp側電極から引き出された配線電極73が形成されている。

[0141] そして、積層構造と電流集約リング構造と概ね垂直に光共振端面が形成されている。

【0142】この半導体レーザの電極71、72に順方向に電流を注入する。さらに電流を増加させるとレーザ発振する。発振波長は約409nmである。

【0143】次に、図5の半導体レーザの作製工程例を説明する。なお、この作製工程例では、半導体レーザの積層構造の結晶成長はMOCVD法で行った。

【0144】この作製工程例では、まず、サファイア基板60を反応管にセットし、水素ガス中、1120℃で加熱し、基板60の表面をクリーニングした。

【0145】次いで、温度を520℃に下げ、雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気とし、TMGとTMAを流し、低阻AlGaInバッファ層61を堆積した。

【0146】次いで、温度を1050℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMI、SiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62を2μmの厚さ、n型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層63を0.7μmの厚さ、n型Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>GaNゲイド層64を0.1μmの厚さに堆積した。

【0147】次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素の混合ガス雰囲気とし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多量量子井戸構造65(2ペリ)を成長した。

【0148】次いで、成長雰囲気をNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気とし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、(EtCp)<sub>2</sub>Mg、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N層66を0.1μmの厚さ、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nクラッド層68を0.7μmの厚さ、p型Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>Nコンタクト層69を0.2μmの厚さに堆積した。

【0149】結晶成長終了後、p型層の底抵抗化のため、窒素雰囲気中で、750℃で15分間の熱処理を行った。

【0150】次いで、レジストで幅4μmのストライプパターンを繰り返しピッチ1mmで形成した。このレジストパターンをマスクとして、約0.7μmの深さをドライエッチングして、リッジ構造400を形成した。

【0151】レジストマスクを除去した後、さらにレジストでリッジ構造400を厚さ500μmのストライプパターンを繰り返してピッチ1mmで形成した。このレジストパターンをマスクとして、約1.5μmの深さにドライエッチングして、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62を露出した。次いで、絶縁保護膜70となるSiO<sub>2</sub>を積層構造の表面に約0.5μm堆積した。

【0152】次いで、p側オーミック電極71を形成した。p側オーミック電極71の形成工程は次の通りである。

る。すなわち、まず、リッジ構造400の上面に、レジストでストライプパターンを形成した後、SiO<sub>2</sub>膜70をエッチングしてリッジ上のp型Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>N層69を露出させる。次いで、レジストを除去し、再度レジストで約450μm幅のストライプパターンを形成し、リッジ上にp側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着する。その後、ウェハを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材料をリフトオフして、半導体レーザの積層構造上にのみp側オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>Nコンタクト層69にp側オーミック電極71を形成した。

【0153】次いで、n側オーミック電極72と配線電極73とを形成した。n側オーミック電極72と配線電極73の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62上のストライプパターンを形成した後、SiO<sub>2</sub>膜70をエッチングして、レジスト上を露出した。次いで、レジストを除去し、再度レジストを露出した。その後、ウェハを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材料をリフトオフして、半導体レーザの積層構造上にのみp側オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>Nコンタクト層69にp側オーミック電極71を形成した。

【0154】次いで、サファイア基板60を薄く研磨し、リッジ構造400に縦断面になるように削り、光共振器構造を形成した。

【0155】また、図6は前述の第1の作製方法で作製したIII族窒化物半導体(p型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N(0.5x≤1))の一例を説明するための図である。より詳細に、図6は本発明のp型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N(0.5x≤1)の結晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

なお、この例では、p型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N(0.5x≤1)はp型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nであり、結晶成長後の冷却雰囲気に含まれる窒素原料はモノメチルヒドリン(MMHY)であるとしている。

【0156】図6を参照すると、まず、サファイア基板80をMOCVD装置にセットし、水素ガス中、1120℃で加熱し、基板80の表面をクリーニングした。

【0157】次いで、温度を520℃に下げ、雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気とし、水素をキャリアガスとして、TMG(トリメチルガリウム)を流し、低阻Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>N層81を堆積した。

【0158】次いで、温度を1070℃に上げ、III族原料としてTMG(トリメチルガリウム)とTMA(トリメチルアルミニウム)を、また、p型ドーパントとして

て(EtCp)<sub>2</sub>Mgを、また、窒素原料としてモノメチルヒドリン(MMHY)を、さらにB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を窒素ガスと水素ガスの混合ガスと同時に反応管に流し、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層82を結晶成長した。

【0159】結晶成長後、III族原料とp型ドーパント原料とB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>の供給を止め、水素ガス(全体の約6%)と窒素ガスとモノメチルヒドリン(MMHY)の混合ガス雰囲気中で窒素まで冷却した。

【0160】冷却後、ウェハを取り出し、結晶成長したAl<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N結晶82の表面に電極を形成してホール測定を行った。この結果、Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層82のキャリア濃度は8×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>で低抵抗のp型を示した。

【0161】また、図7、図8は前述の第1の作製方法で作製した半導体装置の一例を説明するための図である。なお、図7、図8の例では、第1の作製方法において、冷却雰囲気に含まれる窒素原料はNH<sub>3</sub>であるとしている。また、図7、図8の例では、半導体装置はフォトダイオードであり、図7はフォトダイオードの断面図、図8はフォトダイオードとなる積層構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

【0162】図7、図8を参照すると、このフォトダイオードは、n型Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>N層90上に、低阻n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nバッファ層91、n型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層92、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層93、Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層94が順次に堆積されて積層構造をなしている。

【0163】ここで、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層93には、p型ドーパントとしてMgと同時に、B(ボロン)がドープニングされている。

【0164】また、図7を参照すると、Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層94は直径150μmの円形に露され、その周囲はエッチングされ、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層93の表面が露出している。露出したp型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層93の表面には、p側オーミック電極95が形成されている。また、n型Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>N層90の表面には、n側オーミック電極96が形成されている。

【0165】図7のフォトダイオードでは、p側オーミック電極95で囲まれた円形部分が受光面600となる。このフォトダイオードに逆バイアスを印加し、受光面600に光を照射すると光の強度に対応した光電流が流れる。図7のフォトダイオードは346.1nmより短い波長の光センサースとして機能する。

【0166】図7のフォトダイオードは、as-grownでp型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層93が作製されているので、p型化のための熱処理を必要としない。その結果、結晶表面の分解がほとんどないので、結晶欠陥が再生せず、暗電流の少ないフォトダイオードとなっている。

【0167】次に、図7のフォトダイオードの作製方法を説明する。まず、n型Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>N層90を反応管にセッ

し、水素と窒素とアンモニアガスの混合ガス中、1120℃に加熱し、基板90の表面をクリーニングした。

【0168】次いで、温度を600℃に下げ、NH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気、TMAとTMGおよびn型ドーパントガスであるSiH<sub>4</sub>ガスを流し、低阻n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nバッファ層91を約50nmの厚さに堆積し、次いで、温度を1070℃に上げ、TMGとTMAとSiH<sub>4</sub>を供給して、n型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層92を1μmの厚さに堆積した。

【0169】次いで、SiH<sub>4</sub>の供給を止め、(EtCp)<sub>2</sub>MgとB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を供給し、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層93を0.5μmの厚さ、Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層94を0.1μmの厚さに堆積した。

【0170】次いで、TMG、(EtCp)<sub>2</sub>Mg、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>の供給を停止し、反応管内を窒素とアンモニアと水素ガス(全体の6%)の混合ガス雰囲気にして窒素まで冷却し、反応管から基板を取り出した。

【0171】次に、直径150μmの円形パターンをレジストで形成した。このレジストパターンをマスクとして、ドライエッチングを行い、マスクパターン以外のAl<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層94をエッチング除去した。

【0172】次いで、p側オーミック電極95を形成した。p側オーミック電極95の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層94の円形パターン上にレジストで直径140μmの円形のパターンを形成した後、p側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、基板を有機溶剤に浸し、レジストを溶かしレジスト上に蒸着された電極材料をリフトオフして、Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層94の電極材料を除去した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層93にp側オーミック電極95を形成した。

【0173】次いで、基板90の裏面を研磨し、厚さを約100μmにした後、n側オーミック電極材料であるTi/Alを蒸着した。その後、窒素雰囲気中で450℃で熱処理し、n側オーミック電極96を形成した。

【0174】また、図9、図10は前述の第1の作製方法で作製した半導体装置の他の例を説明するための図である。なお、図9、図10の例では、第1の作製方法において、冷却雰囲気に含まれる窒素原料はNH<sub>3</sub>であるとしている。また、図9、図10の例では、半導体装置はフォトダイオードであり、図9はフォトダイオードの断面図、図10はフォトダイオードとなる積層構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

【0175】図9、図10を参照すると、このフォトダイオードは、n型Ga<sub>0.99</sub>In<sub>0.01</sub>N層100上に、低阻n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nバッファ層101、n型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層102、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層103が順次に堆積されて積層構造をなしている。

【0176】ここで、p型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層103が順



には、p型ドーパントとしてのMgと同時に、B（ボロン）がドーピングされている。

[0177] また、このフォトダイオードは、p型Al<sub>0.98</sub>Ga<sub>0.02</sub>N層103からn型Ga<sub>0.99</sub>N基板100が露出するまでエッチングして形成された直径150μmのメサ構造をなしている。

[0178] そして、メサ構造とエッチングによって露出されたn型Ga<sub>0.99</sub>N基板100上には、SiO<sub>2</sub>絶縁膜104が形成されている。

[0179] メサ構造の上部のSiO<sub>2</sub>絶縁膜104は、その外周がリング状のエッチングされ、p型Al<sub>0.98</sub>Ga<sub>0.02</sub>N層103の表面が露出している。露出したp型Al<sub>0.98</sub>Ga<sub>0.02</sub>N層103の表面には、リング状のp側オーミック電極105が形成されている。また、メサ構造の側面とエッチングによって露出したn型Ga<sub>0.99</sub>N基板100上のSiO<sub>2</sub>絶縁膜104上には、p側オーミック電極105から引き出された配線電極107が形成されている。

[0180] また、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板100の表面にはn側オーミック電極106が形成されている。

[0181] 図9のフォトダイオードでは、メサ構造上のリング状のp側オーミック電極105と露出された部分の受光面500となる。このフォトダイオードに逆バイアスを印加し、受光面500に光を照射すると、光の強度に対応した光電流が流れる。図9のフォトダイオードは、346nmよりも短い波長での光センサーとして機能する。

[0182] 図9のフォトダイオードは、as-grownでp型Al<sub>0.98</sub>Ga<sub>0.02</sub>N層103が作製されているので、p型化のための熱処理を必要としない。そのため、結晶表面の分解がほとんどないの、結晶欠陥が発生せず、暗電流の少ないフォトダイオードとなっている。

[0183] 次に、図9のフォトダイオードの作製方法を説明する。まず、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板100を反応管にセットし、水素とアンモニアガスの混合ガス中、120℃に加熱し、基板100の表面をクリーニングした。

[0184] 次に、温度を600℃に下げ、NH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気、TMAとTMGおよびn型ドーパントガスであるSiH<sub>4</sub>ガスを流し、低温n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nバッファ層101を約50nmの厚さに堆積し、次に、温度を1070℃に上げ、TMGとTMAとSiH<sub>4</sub>を供給し、n型Al<sub>0.98</sub>Ga<sub>0.02</sub>N層102を1μmの厚さに堆積した。

[0185] 次に、SiH<sub>4</sub>の供給を止め、(EtCp)2MgとB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を供給し、p型Al<sub>0.98</sub>Ga<sub>0.02</sub>N層103を0.5μmの厚さに堆積した。

[0186] 次に、TMG、(EtCp)2Mg、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>の供給を停止し、反応管内を窒素とアンモニアと水

115が順次に積層され形成されている。

[0196] ここで、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層114、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層115には、p型不純物であるMgと同時にBが添加されている。

[0197] また、発光ダイオードのp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層115上には、Ni/Auからなるp側オーミック電極116が形成されている。

[0198] また、基板110の表面には、Ti/Al/[0199] に対して、この発光ダイオードの側面は基板110に順次に形成されている。

[0200] この発光ダイオードは、p側、n側オーミック電極116、117に順方向のバイアスをかけると、発光ダイオードの一面である発光端面700から光が外部に放射される。この発光ダイオードの発光のピーク波長は、約350nmであった。

[0201] 次に、図11の発光ダイオードの作製方法を説明する。なお、発光ダイオードの積層構造はMOCVD法で結晶成長して作製した。まず、n型Ga<sub>0.99</sub>N基板110を反応管にセットし、アンモニアガス中、1120℃で加熱し、基板110の表面をクリーニングした。

[0202] 次に、温度を600℃に下げ、窒素をNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、TMAとTMGおよびn型ドーパントガスであるSiH<sub>4</sub>ガスを流し、n型低温Al<sub>0.97</sub>Ga<sub>0.03</sub>Nバッファ層111を堆積した。

[0203] 次に、温度を1070℃に上げ、TMG、TMAおよびn型不純物ガスとしてSiH<sub>4</sub>を反応管に供給し、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層112を0.3μmの厚さ、Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N活性層113を0.05μmの厚さに堆積した。

[0204] 次に、n型不純物原料の代わりに、p型不純物原料である(EtCp)2Mgとそれと同時にB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を反応管に供給し、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層114を0.3μmの厚さに堆積し、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層115を0.2μmの厚さに堆積した。

[0205] 結晶成長終了後、反応管内をアンモニアガスのみの雰囲気にして成長温度から室温まで冷却した。

[0206] 冷却後、積層構造表面にテスターを走ると、導通があり、表面のp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層115が低抵抗であることが確認された。

[0207] 次に、p側オーミック電極材料であるNi/Auを積層構造上に堆積した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層115にp側オーミック電極116を形成した。

[0208] 次に、Ga<sub>0.99</sub>N基板110の表面を研磨し、約100μmの厚さにした。そして、Ga<sub>0.99</sub>N基板110の表面にn側オーミック電極材料であるTi/Alを蒸着し、窒素雰囲気中で450℃で熱処理し、n側オーミック電極117を形成した。

【0219】次いで、温度を600℃に下げ、NH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気中で、TMAとTMGおよびn型ドーパントガスであるSiH<sub>4</sub>ガスを流し、n型低阻AlGaInPバッファ層121を堆積した。

【0220】次いで、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、n型不純物ガスとSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高阻バッファ層122を1μmの厚さ、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層123を0.5μmの厚さ、n型GaInPバッファ層124を0.1μmの厚さに積層した。

【0221】次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多量量子井戸活性層125(2ペラ)を成長した。

【0222】次いで、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、p型不純物原料の(EtCp)<sub>2</sub>Mg、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層126を20nmの厚さ、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層127を0.1μmの厚さ、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層128を0.5μmの厚さ、p型GaInPバッファ層129を0.2μmの厚さに積層した。

【0223】結晶成長終了後、反応管内をアンモニアガスのみの雰囲気にして成長温度から室温まで冷却した。

【0224】冷却後、積層構造表面にテスターを充てると、導通が有り、表面のp型GaInPバッファ層129が低抵抗であることが確認された。

【0225】次いで、レジストで幅4μmのストライプパターンを繰り返しレジスト300μmで形成し、このレジストパターンをマスクとして、約0.7μmの深さをドライエッチングして、レジスト構造800を形成した。

【0226】しかる後、レジストマスを除去し、その後、絶縁保護膜130となるSiO<sub>2</sub>を積層構造の表面に約0.5μmの厚さに堆積した。

【0227】次いで、p側オーミック電極131を形成した。p側オーミック電極131の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、レジスト構造800の上部に、レジストでスキストライプパターンを形成した後、SiO<sub>2</sub>絶縁保護膜130をエッチングしてレジスト800上のp型GaInPバッファ層129を露出させる。次いで、レジストを除去し、ウェハー表面にp側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型GaInPバッファ層129にp側オーミック電極131を形成した。

【0228】次いで、基板120の表面を研磨し、厚さを約100μmにした後、基板120の裏面にn側オーミック電極材料であるTi/AIを蒸着した。その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理し、n側オーミック電極152を形成した。

【0229】次いで、半導体レーザ構造が形成された。

【0230】次に、図16、図17の半導体レーザの作製方法を説明する。なお、半導体レーザの積層構造2000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n

型AlGaInPバッファ層121を堆積した。

【0231】次に、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、n型不純物ガスとSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高阻バッファ層122を1μmの厚さ、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層123を0.5μmの厚さ、n型GaInPバッファ層124を0.1μmの厚さに積層した。

【0232】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多量量子井戸活性層125(2ペラ)を成長した。

【0233】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、p型不純物原料の(EtCp)<sub>2</sub>Mg、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層126を20nmの厚さ、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層127を0.1μmの厚さ、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層128を0.5μmの厚さ、p型GaInPバッファ層129を0.2μmの厚さに積層した。

【0234】次に、図16、図17の半導体レーザの作製方法を説明する。なお、半導体レーザの積層構造2000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n

型AlGaInPバッファ層121を堆積した。

【0235】次に、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、n型不純物ガスとSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高阻バッファ層122を1μmの厚さ、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層123を0.5μmの厚さ、n型GaInPバッファ層124を0.1μmの厚さに積層した。

型GaInPバッファ層121を堆積した。

【0236】次に、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、n型不純物ガスとSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高阻バッファ層122を1μmの厚さ、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層123を0.5μmの厚さ、n型GaInPバッファ層124を0.1μmの厚さに積層した。

【0237】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多量量子井戸活性層125(2ペラ)を成長した。

【0238】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、p型不純物原料の(EtCp)<sub>2</sub>Mg、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層126を20nmの厚さ、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層127を0.1μmの厚さ、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層128を0.5μmの厚さ、p型GaInPバッファ層129を0.2μmの厚さに積層した。

【0239】次に、図16、図17の半導体レーザの作製方法を説明する。なお、半導体レーザの積層構造2000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n

型AlGaInPバッファ層121を堆積した。

【0240】次に、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、n型不純物ガスとSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高阻バッファ層122を1μmの厚さ、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層123を0.5μmの厚さ、n型GaInPバッファ層124を0.1μmの厚さに積層した。

【0241】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多量量子井戸活性層125(2ペラ)を成長した。

【0242】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、p型不純物原料の(EtCp)<sub>2</sub>Mg、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層126を20nmの厚さ、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層127を0.1μmの厚さ、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層128を0.5μmの厚さ、p型GaInPバッファ層129を0.2μmの厚さに積層した。

【0243】次に、図16、図17の半導体レーザの作製方法を説明する。なお、半導体レーザの積層構造2000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n

型AlGaInPバッファ層121を堆積した。

【0244】次に、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、n型不純物ガスとSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高阻バッファ層122を1μmの厚さ、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層123を0.5μmの厚さ、n型GaInPバッファ層124を0.1μmの厚さに積層した。

【0245】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多量量子井戸活性層125(2ペラ)を成長した。

【0246】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、p型不純物原料の(EtCp)<sub>2</sub>Mg、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層126を20nmの厚さ、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層127を0.1μmの厚さ、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層128を0.5μmの厚さ、p型GaInPバッファ層129を0.2μmの厚さに積層した。

【0247】次に、図16、図17の半導体レーザの作製方法を説明する。なお、半導体レーザの積層構造2000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n

型AlGaInPバッファ層121を堆積した。

【0248】次に、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、n型不純物ガスとSiH<sub>4</sub>を組成にあわせて供給し、n型Al<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N高阻バッファ層122を1μmの厚さ、n型Al<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nクラッド層123を0.5μmの厚さ、n型GaInPバッファ層124を0.1μmの厚さに積層した。

【0249】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N/In<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>N多量量子井戸活性層125(2ペラ)を成長した。

【0250】次に、成膜雰囲気はNH<sub>3</sub>と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、p型不純物原料の(EtCp)<sub>2</sub>Mg、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を組成にあわせて供給し、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層126を20nmの厚さ、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層127を0.1μmの厚さ、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層128を0.5μmの厚さ、p型GaInPバッファ層129を0.2μmの厚さに積層した。

ができる。

【0255】また、従来のIII族窒化物半導体レーザーでは、p型AlGaInクラッド層のキャリア濃度が低いため、電子が活性層からp型クラッド層にオーバーフローし、発光効率の低下を招いていたが、本発明の半導体レーザーは、高いキャリア濃度でp型AlGaInをクラッド層に使用することからできるので、発光効率が高い。【0256】さらに、p型AlGaInはa-s-growthで成長性を示すので、p型化のための特別な処理にも動作時間と費用が必要とされない。従って、従来よりコストの半導体レーザーを供給できる。

【0257】また、請求項6記載の発明によれば、請求項4または請求項5記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は、発光波長が400nm以下であり、p型AlGaInクラッド層にAlの混晶組成比が大きく、高いキャリア濃度のAlGaInを使用することができ、また、従来の型Ⅱであった400nm以下の波長を有する発光素子の発光が実現できる。

[illegible]

【0259】また、請求項8記載の発明によれば、Mgと同時に、Bが添加されているp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ )を、水素を含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度から冷却し、窒素原料を含む高圧窒素で行うことになっており、MgとBを同時に添加しての高キャリア濃度の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ )の結晶成長し、窒素原料を含む窒素ガス中の冷却とを組み合せることで、従来しかなかったp型品が得られる。

【0260】また、請求項9記載の発明によれば、請求項8記載の（1）炭化水素単体の使用方式において、冷却却装置使用に含まれる重要な原料はNH<sub>3</sub>であるので、請求項8の作用効果に加えて、NH<sub>3</sub>の分解によって生成される炭素によって、結核面に吸着している未反応の有機酸等が、有機物の水素によるクリーンメツティング効果が期待でき、表面の汚染の増加を防止できる。

【0261】また、請求項10記載の発明によれば、M

gと同時にはBが添加されているp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ )を、水素ガスを含む反応系で結晶成長 (0.5 Torr) させた。水素ガスを含む反応系で結晶成長させたp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ の冷却時熱膨張率の温度変化の平均値を、NのH<sub>2</sub>の冷却時熱膨張率で割ることで、その分が正として、冷却時熱膨張がN<sub>2</sub>がガスであるというのに対して、生成される原子状水素による結晶表面の分解和抑制効果と水素によるクーリーニング効果が、混合ガス熱膨張の場合よりも効果的に得ることができ、その結果、従来よりも高いキャリア濃度のp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) を室温で作成することが可能である。

【026】また、請求項1記載の発明によれば、Mgと同時又は後に添加されている型Al<sub>1</sub>Ga<sub>(1-n)</sub>Nを含む原料を含有する結晶成長を含む反応系に原料を添加し、その結晶成長を促進して、原料を含む雰囲気中の結晶成長速度から冷却を、原料を含む雰囲気を行うようになっており、MgとBを同時に添加しての熱処理速度のAl<sub>1</sub>Ga<sub>(1-n)</sub>N ( $0 \leq n \leq 1$ ) の結晶成長と、原料を含有する雰囲気ガス中の冷却とを組み合わせることで、従来のAl<sub>1</sub>Ga<sub>(1-n)</sub>N ( $0 \leq n \leq 1$ ) の材料が得られていたよりも、原料が低減されることとなる。

【0263】 $Al_1Ga_{(1-x)}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) が単層、あるいは薄膜構造の異界面に結晶成長される場合においては、冷卻雰囲気中に含まれる窒素原料が、 $AlGaN$ の生成反応に寄与する予知の窒素を生成するため、 $Al$ と $GaN$ 結晶面から窒素の解離が防止され、その結果、 $GaN$ 結晶面から窒素の解離が抑制され、表面の高低抵抗化が防止される。

【0264】 藍素原料による分解の抑制は、p型AIGaNだけではなく、他のIII族窒化物結晶にも効果がある。半導体装置を構成するIII族窒化物有機膜構造の最表面の熱分解防止のために、結晶品質の良い結晶を半導体装置に使用することができる。従って、従来のよりも電気特性が優れた、高信頼性の半導体装置を作製することができる。

【0265】また、P型化のための熱処理を必要としな  
いたため、半導体装置の作製工程を簡略化できるとも  
な、熱処理の作製工程を簡略化できるとも  
に、低コストで半導体装置を作製することができる。  
【0266】また、請求項12記載の発明によれば、請  
求項11記載の半導体装置の作製方法において、冷媒環  
路中に含まれる冷媒は、窒素ガス(N<sub>2</sub>)である。この  
冷媒環路中に含まれる冷媒は、窒素ガス(N<sub>2</sub>)である。この

8. 8. の作用効果に加えて、 $\text{NH}_3$  の分解によって生成された水素によって、結晶表面に密着している炭素反応の有機原料、有機物の水素によるクリーニング効果が期待でき、炭化炉汚染による炭素塩析の増加を防ぐ。[0267] 従って、炭素よりも高いキヤリウム度の  $p$  型  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) を  $a$ -grown で作製するとともに、炭素よりも電気的特性が優れた、高価順性の半導体装置を低コストで作製することができ

【0268】また、請求項13記載の発明によれば、M<sup>n+</sup>と同様にBが添加されているp型A<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(n=1)N(0.05<x≤1)を含む半導体薄膜層構造で、水素ガスを含有した反応室中で結晶成長し、その結晶成長速度は結晶成長長にほぼ一定の割合で減少する冷却制御や行なうようにして、冷却制御がNH<sub>3</sub>ガスであるので、その分だけ液体窒素によって生成された初期予置窒素による結晶表面の分解を防ぐ効果と水素によるクリーニング効果が、混合ガスを導入した場合よりも効率的に得られることと、この結果、従来のより高いキャリア濃度のp型A<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(n=1)N(0.05<x≤1)がas-grownで作製される。これにより、従来よりも電気的特性が優れ、高信頼性の半導体本體を低コストで製造することが可能となる。

【図面の簡単な説明】  
【図１】本発明に係るIII族窒化物半導体の一例を示す図である。

【図2】本発明に係る半導体装置の一例を示す図である。

【図3】本発明に係る半導体装置の一例を示す図であ

【図4】本発明に係る半導体装置の他の構成例を示す図である。

【図 5】本発明に係る半導体装置の他の構成例を示す図である。

【図6】本発明のp型Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(0 ≤ x ≤ 1)の結晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

【図8】図7のフォトダイオードとなる積層構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

【図9】フォトダイオードの一例を示す図である。  
【図10】図9のフォトダイオードとなる積層構造の結

【図11】端面発光型ダイオードの一例を示す図である。

【図12】図11の端面発光型ダイオードとなる積層構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図であ

る。

【図13】半導体レーザーの一例を示す斜視図である。

【図14】図13の半導体レーザーの光出力方向に垂直な面での断面図である。

製造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

【図16】半導体レーザーの一例を示す斜視図である。  
【図17】図16の半導体レーザーの光射出方向に垂直

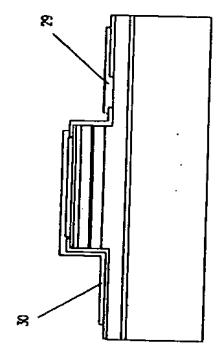
な面での断面図である。

る。  
 構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図であ

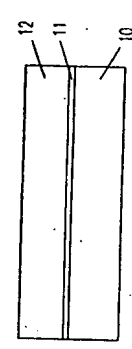
【図19】従来の半導体レーザーを示す図である。

- パツプアー層
- 143 n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層
- 144 n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層
- 145 GaN/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N多重量子井戸活性層
- 146 p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層
- 147 p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nガイド層
- 148 p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層
- 161 n型GaNより成る第2のパツプアー層
- 162 n型In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド防止層
- 163 n型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/GaN超格子より成るクラッド層
- 165 [In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N]/[In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N多重量子井戸構造の活性層]
- 166 p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nキャップ層
- 168 p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N/GaN超格子クラッド層
- 169 p型GaNコンタクト層
- 201, 202, 700 光出射端面
- 203, 300, 500, 600 受光面
- 400, 800, 900 電流挾持リッジ構造
- 401, 402, 801, 802, 901, 902 光共振端面
- 1000, 2000 半導体レーザーの積層構造

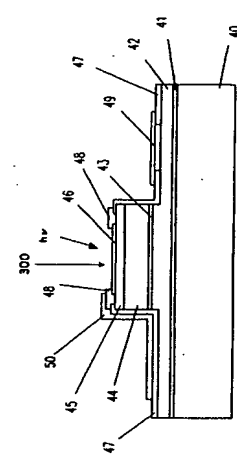
【図3】



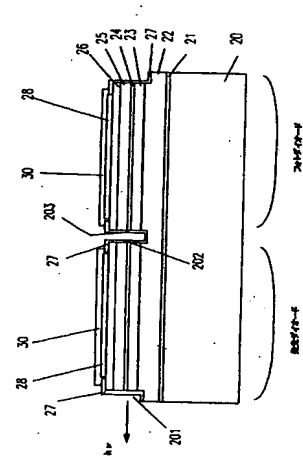
【図1】



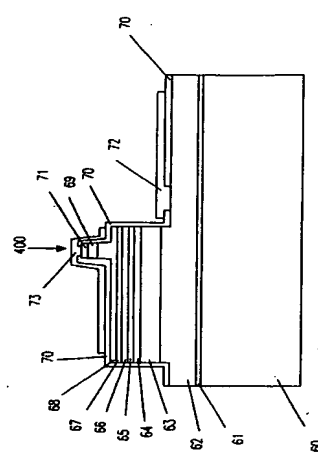
【図4】



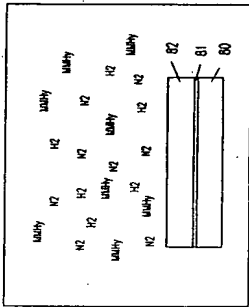
【図2】



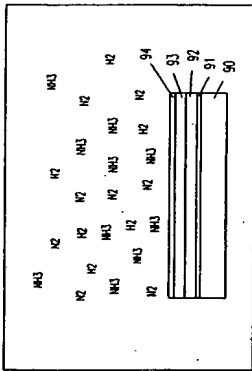
【図5】



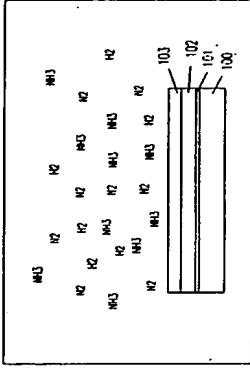
【図6】



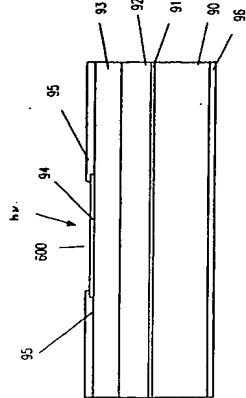
【図8】



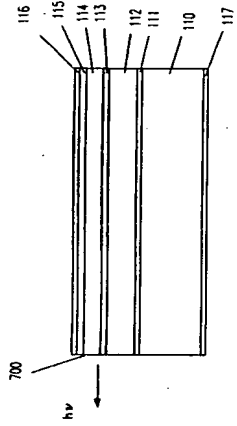
【図10】



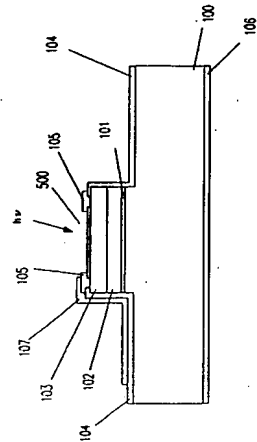
【図7】



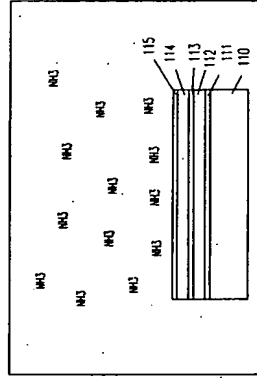
【図11】



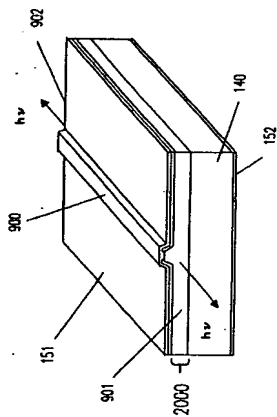
【図9】



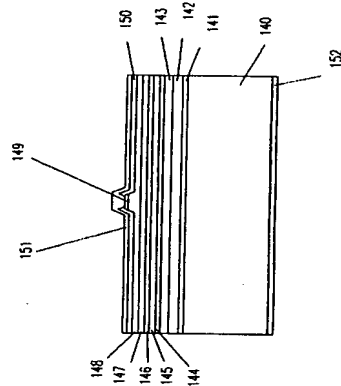
【図12】



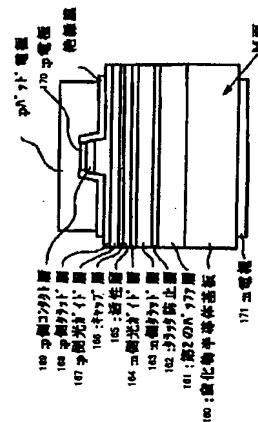
【図16】



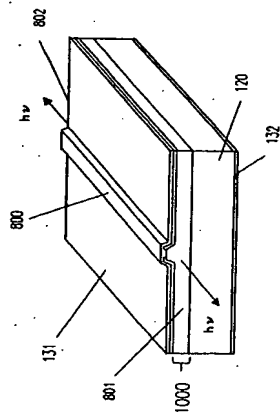
【図17】



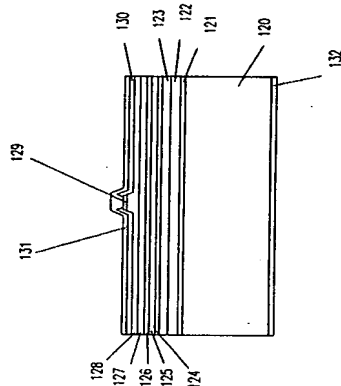
【図19】



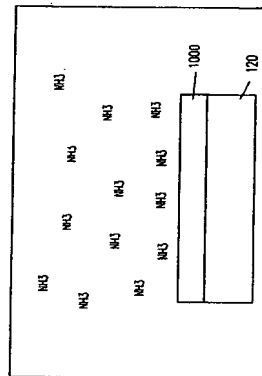
【図13】



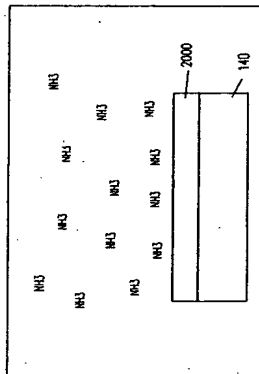
【図14】



【図15】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 三樹 剛

東京都大田区中馬込1丁目3番5号 株式会社リコー内

Fターム(参考) 5F041 A03 AA21 AA43 CA40 CA57  
CA65 FF13 FF14  
5F045 AA04 AB14 AB17 AC08 AC12  
AD12 AD14 AF04 BB16 CA12  
DA53 DA55  
5F073 AA13 AA45 AA74 BA01 BA05  
CA07 CB05 DA05 DA11 DA21  
DA31 EA28

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**